システム工学とその応用

社会システム科学概論　集中講義ノート

長井　務

システム工学とその応用　目次

C　最適を判断する基準　目的関数

D　目的関数・変数とトレード・オフ

（あ）関数極値法

（い）変分法

（う）最急傾斜法

（お）線形計画法（Linear Programming　LP）

（か）動的計画法　ダイナミック・プログラミング（Dynamic Programming　DP）

（き）ゲーム理論

２－３　評価の方法

A　評価　「何がよいから最適であるのか」という問題を考えること

B　評価の手順

C　評価の種類

D　評価の例

a　関連樹木（Relevance Tree）法

b　テクノロジーアセスメント（Technology Assessment　TA）

第３章　複雑化するシステムの解明

３－１　システムの分析と信頼度

A　信頼性　Reliability

B　バス・タブ曲線　Bath-Tub Curve

C　信頼性の表示方法

D　複雑なシステムの型

a　直列システム

b　並列システム

c　直列・並列混合システム

E　信頼度の改善

F　冗長システム

G　二重化システム

H　ツイン・システム

I　トリプル・システム

J　平均修理時間　(Mean Time To Repair　MTTR)

K　アベイラビリティ（Availability　A）

３－２　システムの計画・実行・管理

A　スケジューリング　日程計画　Scheduling

B　PERT 法（パート　Program Evaluation and Review Tecnique）

３－３　システムとコンピュータの融合

＊＊　システム分析　**System Analysis**　＊＊

A　SOP　Study Organization Plan

B　事務分析のフローチャート

C　デシジョン・テーブル　Decision Table

D　要求定義手法

＊＊　システムの設計（System Design）＊＊

A　機能仕様書

B　入力設計書

D　出力設計書

E　システム構成設計書

F　コード設計書

G　ファイル設計書

H　処理手順書

I　検査仕様書

J　取扱説明書

３－４　システムと人間（最大の情報源）

＊＊　巨大システムにおける大事故原因　＊＊

A　スリーマイル・アイランドの原子力発電所の原子炉空だき事故

B　1986 年　スペースシャトル・チャレンジャー号の爆発事故

C　1986 年　ソ連のチェルノブイリ原子力発電所の原子炉暴走と水蒸気爆発

＊＊　人間の研究（人間工学）＊＊

A　システムにおける人間の研究

B　マンマシン・システムの考え方

C　安全対策とヒューマン・ファクター

D　システムの使いやすさ

第４章　システム工学の応用

４－１　日常生活とシステム工学

身近にあるシステム

A　銀行オンライン

B　鉄道の座席予約システム

C　駅のアナウンス自動合成システム

D　自動車交通の広域制御システム

E　新自動車交通情報通信システム　アムティクス　AMTICS

F　路線バスの到着予告システム

G　バスの運行計画図作成自動化システム

H　救急システム

４－２　国・地方自治体・個人とシステム工学

A　国の情報システム

- a　コンピュータ導入
- b　統計データとその分析ソフトウエア
- c　業務用データとその検索用ソフトウエア
- d　官庁が行政上の必要から集めたデータのファイルは 800 種類以上
- e　個人に対するサービス
- f　国民総背番号制　NIS　National Information System

B　地方自治体の情報システム

- a　東京都をはじめ各府県や主要都市の大気汚染や水質汚濁の監視システム
- b　宮崎県は地域の良さを総合的に表す「総合地域指標」を開発
- c　兵庫県は「兵庫ダイナミックス」というシミュレーション・モデルを開発

C　国土情報とリモートセンシング

- a　メッシュ・データ　Mesh Data
- b　遠隔探査　Remote Sensing　リモート・センシング
  - ＊　利用例

D　データベース

- a　概念
- b　定義
- c　情報の形態
- d　日本で利用できるデータベース
- e　国産の商業用データベース

４－３　経済・産業・金融とシステム工学

システム工学とその応用

第１章　集合体のシステム論「システム工学」

１－１　歴史と体系

１　システム的思考

＊　考え方の変化

＊　経済・金融

＊　工場生産

＊　生活

２　システム的思考の定義

＊　代替・模擬物の開発

＊　全体と部分の分析と評価

＊　企画・実行・評価のサイクル

３　システムの定義

＊　複数の要素の集合

＊　連関する機能

＊　全体の目的

＊　時系列

４　システム工学の母理論・技術

＊　OR　「ランチェスターの N^2 法則」　第一次世界大戦　作戦計画　企業の経営
　　因果関係の定式化と解法、対策

＊　情報理論　「シャノンの電話回線理論」　雑音と会話の比　不確かさの除去率
　　1948　冗長度・信頼性研究におけるエントロピー

＊　サイバーネティクス　1948　「ウイナーのフィードバック理論」
　　目標からずれた量を制御し次の動作を決定する　自動制御装置
　　人間・動物、経済・社会のサイバネティクス的現象

＊　計算の機械化に関する基礎数学　1936　「チューリングの計算の機械化論」
　　チューリングマシン　計算行動の目・手・足・脳とテープの思考実験
　　1945　「フォンノイマンのプログラム内蔵コンピュータ」
　　オートマトン理論　入力により内部が変化し新しい出力を行う

＊　コンピュータ　自動機械の大規模システム
　　フォンノイマンの「プログラムとデータの内蔵方式」コンピュータの提案

５　システム工学の体系

＊　模擬　Simulation　シミュレーション　思考実験　代替物で実験

＊　最適化　Optimization　オプティマイゼーション　システム工学の中心課題
　　システムの目的が最高に実現できる形に仕上げる計画
　　アポロ計画における月ロケット打ち上げ後の、燃料消費と軌道修正

＊　評価　Evaluation　エバリュエーション

最適化の結果を各種問題について評価する

１－２　有機的に連関する社会の総合化技術

A　複雑化する社会

＊　物質

天然物質　合成繊維・プラスティク　有害食品添加物

＊　情報量

新聞・ラジオ、テレビ・パソコン、音声・画像、マスメディアのシステム化

＊　価値観

商品の多様化、多種少量生産体制生活スタイル

縦割り学問・行政・産業・商業のあり方が、境界領域を重視

社会変化の宿命的歴史観から選択論的歴史観であるシステム的思考へ

B　発明・発見と社会変化

機械・材料の発明、蒸気機関の発明、内燃機関の発明、活版印刷の発明

発明の数の減少

C　需要による供給が発明発見の原動力

社会生活上の欠陥分析と知識・技術のシステム化による対策システムの開発

D　総合化の技術＝システム工学

＊　システムの外部構造・内部構造と分析・総合

機械システムの性能を調べることが分析

機械システムを設計することが総合

E　目的・企画（外部構造）を実現するための設備・人・手順（内部構造）

機械、機械群、工場、会社、団体、都市、社会、国家、世界へと発展

F　システム時代

人間知恵の集大成　知識・技術のシステム化に関するシステム工学

１－３　システム工学の目的と手法

A　システム工学の対象の変遷

軍事　原子力　宇宙　社会　物質　地球環境　情報　人間　全生命と物質

B　ハードウエアとソフトウエアの有機的連関

ハードウエア　装置群

ソフトウエア　手順、規則、ノウハウなどの体系

C　人工知能とシステム化

人工知能研究における「認知科学」

コンピュータプログラムとプログラミング技術による、人間思考の原理解明

D　人工知能技術

a　知識の３分野

知識表現技術　どのような形式で表現するか　宣言的表現・手続き的表現
知識利用技術
知識獲得と管理技術　システムが外部から知識を獲得しどのように管理するか

b　問題解決　盲目的探査法、発見的探査法
問題解決とは、表現された知識を用い、任意状態から展開し、適用可能な操作を行い、制約条件を遵守しながら目標状態に到達すること

c　学習　新知識獲得と既存の知識体系に組み込む
入力に対する出力が、ある尺度から考察して、目的に近づくよう、自分自身を変化させること

d　言語理解　機械翻訳システム
単語を分離し、品詞や接続などを決定し、意味理解を実行すること
格文法　動詞を基にして文の意味をネットワーク構造でとらえる意味理解法

E　人工知能の応用　エキスパート・システム
1977　スタンフォード大学　「ファイゲンバウムの知識工学」
専門家と同程度の判断能力を持つコンピュータプラグラムを構築する

第２章　システム工学の基礎

２－１　模擬の方法

A　まねをする対象　自然現象、経済現象、権力闘争、戦争
実体の実験が不可能、危険をはらむ、費用が膨大な場合行う

B　まねをする手段　小型模型で実験　コンピュータを利用する
アナログコンピュータ　ジェット機・ロケットの飛行などの運動
ディジタルコンピュータ　経済現象・権力闘争などの複雑な計算と判断
ハイブリッドコンピュータ　原子炉の運転特性による制御

C　どのようにまねるか　モデルビルディング　Model Building　実体の動作を解明
実体の挙動を分析し数式・グラフ・表による定量的因果関係（モデル）を作成し、コンピュータで処理できるまで、具体化する
一連のプログラム群に法則を記憶させ、実験者の論理に従わせる

D　実体とモデルの動作分類

a　実体現象が決定的でモデルも決定的　宇宙船の軌道計算
実体　天体の万有引力、ロケットの制御推力、太陽風などの要素があるが、ニュートンの運動方程式に支配される決定的現象
モデル　ニュートンの運動方程式に支配される決定的現象

b　実体現象は決定的であるがモデルが確率的　大規模で複雑な電子回路
実体　　１つの入力に１つの出力が得られるから決定的
モデル　入力全ての組み合わせを実行することは不可能でサンプリングされた入力の組み合わせを実行し、統計処理を行って推測する

c　実体現象が確率的でモデルは決定的　寿命分布

実体　　個々人の死亡は不明

モデル　多くの集団では確率論的扱いができ、平均寿命の決定論的モデルで予測可能

d　実体現象・モデル、ともに確率的　タクシー乗り場の待ち行列

実態　　客・空車の到着時間はでたらめ

モデル　乱数発生によるランダム現象を再生

E　実態現象が複数間で競合的に発生する対象　室内ゲーム　企業競争　外交交渉

互いに利害の対立する当事者が相手の出方を予想して自分の意思を決定する

確率的状況のシミュレーション

ストカスティック・シミュレーション (Stchastic Simulation)

モンテカルロ・シミュレーション (Monte Carlo Simulation)

競合的状況のシミュレーション

ゲーミング・シミュレーション(Gaming Simulation)

F　シミュレーションの例

a　月着陸船シミュレータ

b　大気汚染シミュレーション

c　モンテカルロシミュレーション

円周率を求める問題

原子炉の設計における炉心の中性子拡散問題（酔歩問題）

大気汚染問題（汚染物質の酔歩問題）

駅や銀行窓口での待ち合わせ問題

G　システム・ダイナミックス（**System Dynamics　SD**）

1958　マサチューセッツ工科大学（MIT）　フォレスター

生産管理、在庫管理等の企業問題の解析用に開発法で、インダストリアル・ダイナミックス(Industrial Dynamics)　、都市問題に応用し、アーバン・ダイナミックス (Urban Dynamics)　と称され、医学、心理学、社会問題などに応用されて、SD と呼ばれている

システム・ダイナミックスの特徴

a　因果関係のループ

「成長の限界」で示された世界モデル

年間出生数と年間死亡数工業生産高における正・負のフィードバックループ

b　レベル(**Level**)とレイト(**Rate**)の概念

レベル変数 タンク内にたまる水の量のようにフローの集積されたもの

経済面　在庫量、銀行預金量、工場設備など

世界モデル　人口、資本、天然資源、農地など

レイト変数　タンクに流入する水、タンクから流出する水のように単位時間当たりのフローをいう

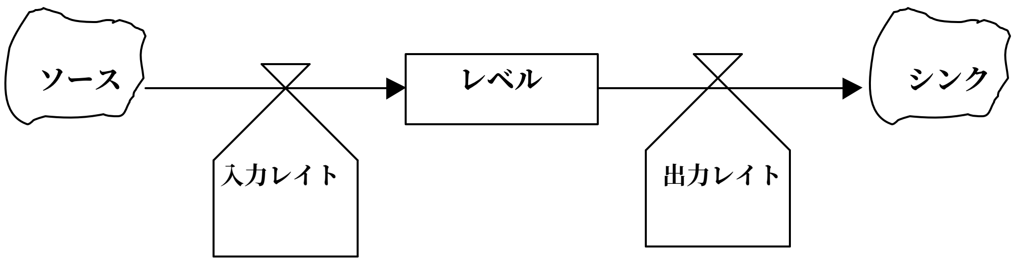
経済面　商品の入荷量、人月当たりの新規預金高、年間の設備投資など

世界モデル　出生率、死亡率、天然資源消費、汚染の発生や吸収など

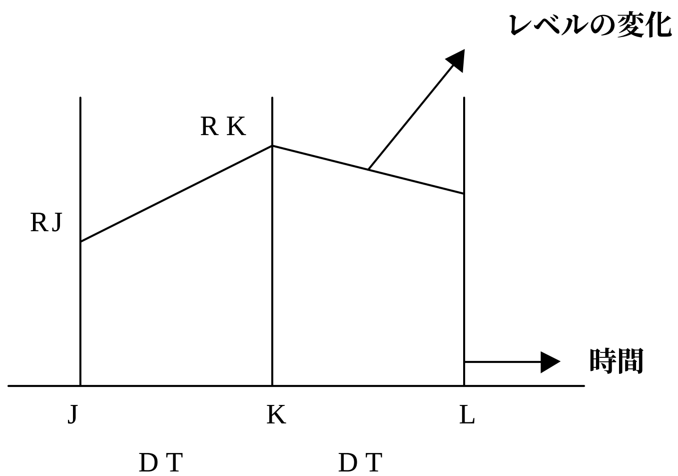
＊　レベルとレイトの計算方法

ある時間間隔におけるレベルの変動は入出力のレイト差を集積したものになる

＊　システム・ダイナミックスのフロー・ダイアグラム



＊　システム・ダイナミックスのグラフ表示



＊　システム・ダイナミックスでの差分方程式

（現時点のレベル）＝（前時点のレベル）＋（経過時間）×（レイトの差）

$$RK = RJ + DT \times (RK - RJ)$$

レベルは関数値、レイトはその変化率（微分係数、直線の傾き）

２－２　最適化の方法

A　最適化とは、最小の入力で最大の出力を得る方法を決定すること

旅行　時間、費用、景観、快適などの要素を総合して決定

財産　預金、証券、不動産

受験　授業料、就職、見栄

企業　資本、設備、社員、生産、広告

B　計画・案の最も望ましいものの決定

これまで、問題点を数式で解析し、シミュレーションを行って、その結果を比較検討し最適な案を決定する事が一般に行われてきた

最近は組織的なやりかたで最適な計画案を見つける最適化手法が発展してきた

C　最適を判断する基準　目的関数

各人の価値観・人生観・世界観が多様化している現在では、客観的で汎用性があり、誰にでも明確な目的を設定し、それを定量的に処理しなければならない

定量化された目的を目的関数という

D　目的関数・変数とトレード・オフ

a　「津から東京まで高速道路で行く場合、ガソリンの消費量を最小にする案」

変数　自動車の速度(km/h)

目的関数　ガソリン消費量(l)

最高速度と最小速度の間に最適な経済速度がある

この考え方をトレード・オフ(Trade Off)という

b　「名古屋から東京へ行く」

飛行機では料金	１３０００円で所要時間	１時間
新幹線	１００００円	２時間
高速バス	８５００円	６時間

変数　料金、所要時間

目的関数＝運賃＋（所要時間×２０００円）

１時間を２０００円の価値とした場合

費用計算結果	飛行機	１５０００円
	新幹線	１４０００円
	高速バス	２０５００円

新幹線で行くのが最適である

最適化とはトレード・オフの点を決定すること

（あ）関数極値法

目的関数の数式において、着目する変数に関して微分し、結果の導関数をゼロとして方程式を解き、変数がこの方程式の根の値を取るときに目的関数が極大・極小値をとることから決定できる

「空気抵抗がゼロのとき最大到達距離にボールを投げるにはどんな角度でよいか」

到達距離と投げる角度の関係式を計算する

「正方形の鉄板で箱を作るとき容積が最大となるのは折り曲げる長さがいくらか」

箱の容積と折り曲げる長さの関係式を計算する

（い）変分法

未知関数の積分を極大または極小にする問題である

「周囲の長さが一定の三角形で面積が最大なものは何か」

変分法で解くと答えは「正三角形」である

図形の形状が未知関数であるが、ある式を仮定し、これから図形の面積を計算する積分式が求められ、この式中の未知関数を変えて最大にする

変関数　図形の形状のように変化する関数

汎関数　積分で示される目的関数

（う）最急傾斜法

小刻みに条件を変えながら良い結果の法へ近づけていく方法

最も急な方向へ登れば必ず頂上に到着する、という山に登る行動に似ている

「ある原料から製品を作る化学プラントの最適制御」

一定量の原料から得られる製品の製造率（収率）を最大にする

収率は原料成分の変動に応じて、温度、圧力、流量、触媒などの反応条件の状況によって変化するが、制御用コンピュータで自動的に操業条件を少し変化させ、その結果を記憶させて判断し、次第に最適操業状態を発見する

（お）線形計画法（Linear Programming　LP）

１次式で示される関数制約のもと、１次式である目的関数の最大・最小を求める

「菓子屋さんが羊羹と饅頭を作っている」

	羊羹	饅頭	原料在庫
小豆	１２５gr	２００gr	３１kg
砂糖	４０	３０	３６
利益	８０円	２０円	
個数	x	y	

小豆の式　$125x + 40y \leqq 31000$

砂糖の式　$200x + 30y \leqq 36000$

（連立方程式の解　$x = 120$、$y = 400$）

目的関数　$z = 80x + 20y$

（$z = 17600$）

最適解　羊羹　１２０本　饅頭　４００個

LP の対象は、多変数の場合が一般的であり、シンプレックス法や市販のコンピュータソフトウエアが用いられている

LPの応用

　病院の入院患者の栄養問題、軍人の輸送問題、石油精製、ブロイラーの飼料配合

非線形計画法　（Non-Linear Progrmming）

　１次以外の項を含む場合で相当難しい

（か）動的計画法　ダイナミック・プログラミング（Dynamic Programming　DP）

１９５１　リチャード・ベルマン

時間の要素を考慮する動的な最適化法で、宇宙工学関係の誘導・制御の問題に応用

最適性の原理（Principle of Optimality）

ある期間について一連の決定を下し、これを政策（Policy）といい、利益が最大となる政策を最適政策（Optimal Policy）という

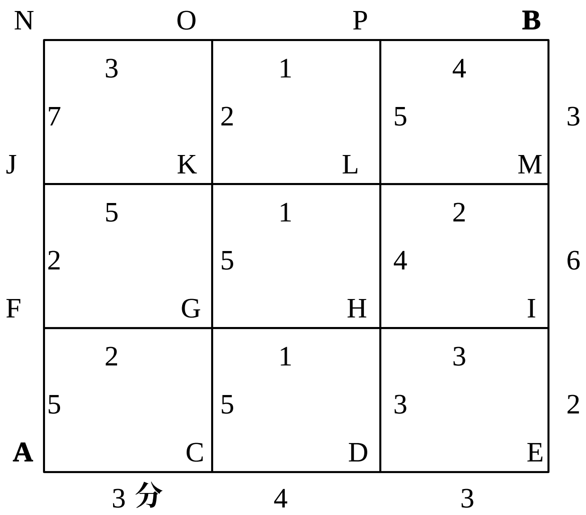
システムの状態は実行により変化する

ベルマン「最適政策はシステムの最初の状態とその後の決定がなんであれ、その決定によって生じた状態に関してその後も最適でなければならない」

「最適政策はどの時点で切っても、その後もまた最適になっている」

DPの問題は後の法から１ステップずつつぎつぎに評価を行い、最適になりうるものだけを選択していって解かれる

例「碁盤目状の道路を自動車でA地点からB地点へ行く。交差点には信号があり、道路の渋滞によって待ち時間が異なり、１区間進むのに時間がかかる。ここで、最短時間で行くコースを求めよ」



最適解　（最短コース）　**A**　F　G　H　L　M　**B**

応用例　　設備更新問題、生産計画、投資計画、在庫管理など

（き）ゲーム理論

競争相手がある場合の最適化問題であり、こちらがいくら最適と考えても、相手が予想に反した出方をすれば、必ずしも最適でなくなる

ゲーム状況　囲碁、将棋、麻雀、企業間競争、住民闘争、裁判、国際外交など

ミニマックス原理とは、最小（Minimum）の利益を設定し、これを最大（Maximum）にする案を実行すること

A「自動車メーカーの新車価格決定問題」

A 社の利益増加表（億円）		A 社の価格	
		９６万円	１０２万円
B 社の価格	９６万円	０	－５０
	１０２万円	４０	２０

B 社の利益増加表（億円）		A 社の価格	
		９６万円	１０２万円
B 社の価格	９６万円	０	５０
	１０２万円	－４０	－２０

最適解（均衡点）　９６万円

B「囚人の悩み」　２人の囚人 A、B が自供するかどうか迷っている

両方とも自供しない　無罪（０点）

片方だけが自供する　自供した方　　軽い刑（２点）

　　　　　　　　　　しなかった方　重い刑（４点）

両方とも自供する　　同じ刑を受ける（１点）

最適解は　？

ゲームの分類

A　プレイヤーの数

２人ゲーム　囲碁　　N 人ゲーム　麻雀

B　プレイヤーの利益

ゼロ和ゲーム　賭け麻雀、賭囲碁など

非ゼロ和ゲーム　松茸狩大会、ミカン狩大会など

C　プレイヤーの戦略

有限ゲーム　じゃんけん　戦略はグー、チョキ、パーに限られている

無限ゲーム　自動車のセールス

D　戦略を行使する段階の数

標準ゲーム　銃による決闘　弾が一発ずつしかなく一回で終わる

展開型ゲーム　借金取り　支払う金額で交渉し延々と続く

２－３　評価の方法

A　評価　「何がよいから最適であるのか」という問題を考えること

大切な観点「何ができたらこのシステムは成功か」というシステムの目的を確立

システム開発関係者の主観や趣味で、目的関数を設定するのではなく、システム工学的に評価の価値観を確立する

B　評価の手順

a　目的の明確化　定量的と文書の併用

b　代替案作成　目的を実現するための手段をいくつか作成する

ブレーン・ストーミング的に多く出し、すうこの案に絞る

代替案が２個の場合がシステム成功の確率が高い

c　評価基準設定　評価基準を最終的に確立する

複数の関係者から直感的な評点を得る

d　評価　客観的な手順を関係者の共通認識とする

e　最適案決定

C　評価の種類

事前評価　システムの実体がないのでシミュレーションや関係者の投票など

中間評価　PERT 法で日程評価を行う

システム性能は設計と製作が進み予測値の信頼度が上がり目標値と比較

検討ができる

直後評価　完成しているシステムの性能は定量的に容易にできる

関係者の定性的な評価もアンケートなどで行いうる

開発に要した費用の明細が作成され、財政的評価も行いうる

追跡評価　研究の成果が多のシステム開発に生かされる

D　評価の例

a　関連樹木（Relevance Tree）法

＊　PATTERN　**パターン**（Planning Assistance Through Technical Evaluation ofRelevance Numbers）

＊　**１９６３　アメリカのハネウエル社　宇宙部門の長期計画作成のために開発**

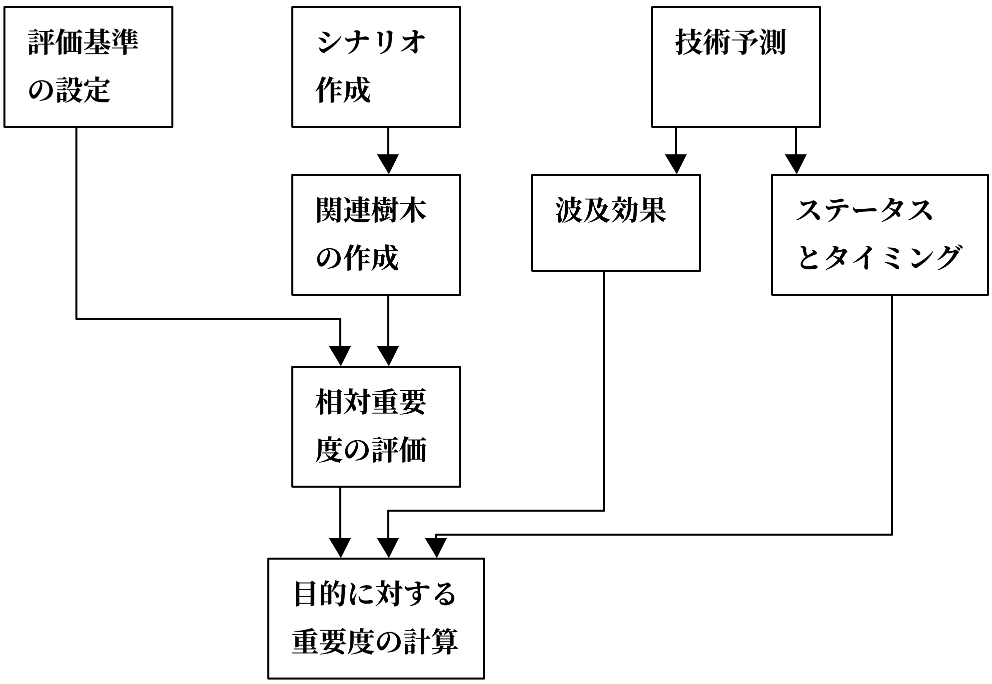
＊　**アポロ計画でロケットに積み込む装置の評価に用いられた**

＊　**「アポロ計画の体系」**

レベル１１の展開

重要度の評価

＊＊＊　**PATTERN による分析の手順**　＊＊＊



＊　**シナリオの作成**

評価の対象分野での問題点や、将来の実現すべきこと

＊　**関連樹木　数千の項目になる場合もある**

＊　**評価基準の設定　専門家集団に評点の投票を依頼する事ができる**

＊　**相対重要度　投票の平均を出し各評価項目のウエイトを掛けて集計した重要度**

将来の技術予測を行い、開発の波及効果を表すマトリックスを作り、ある開発項目が現在どのような段階（ステータス）にあって、実用化まで

にあと何年かかるか（タイミング）ということを調べて、実用化までの期間による重要度関数を決定する

b　テクノロジーアセスメント（Technology Assessment TA）

技術の再点検、技術の事前評価でマイナス面に注目した評価である

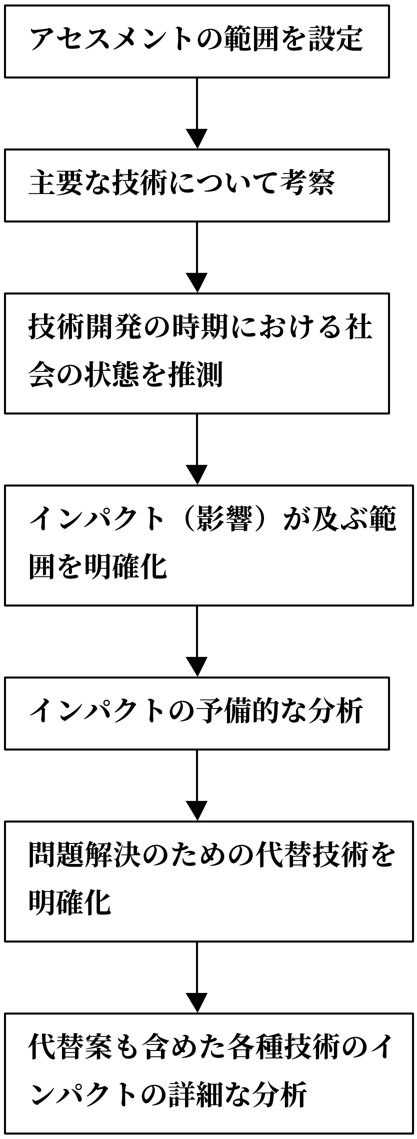
自動車の排気ガス、飛行機・列車などの騒音問題

TA の一般的な方法・手順を右に示す

過去、経済成長を急ぎ、技術の適用を一方的に展開し、各種公害問題や環境破壊を引き起こしてきたが、現在では、利用者や第三者の意見も充分反映させる立場が取られている

TA は単なる「技術評価」であるが、「技術管理」にまで及ぼしているため、社会側と生産側との間で迅速なフィードバックが行われるシステムを構築する必要がある

TA 自身が企業や技術者から敵視されている傾向があるが、時代の要請がある今日では、イメージアップ、社会向上の良策である



第３章　複雑化するシステムの解明

３－１　システムの分析と信頼度

A　信頼性　Reliability

新幹線の故障例　1964年開通

1　初期故障

システムが稼働しはじめてのもの

パンタグラフ　設計や製作のミスが起因で、改造され原因が除去された

初期故障が一段落すると、信頼性が高くなる

2　偶発故障

積雪、運転ミス、部品の不良などの外部要因によるもの

1970年　支障41件

3　摩耗故障

部品の老朽化や金属疲労など

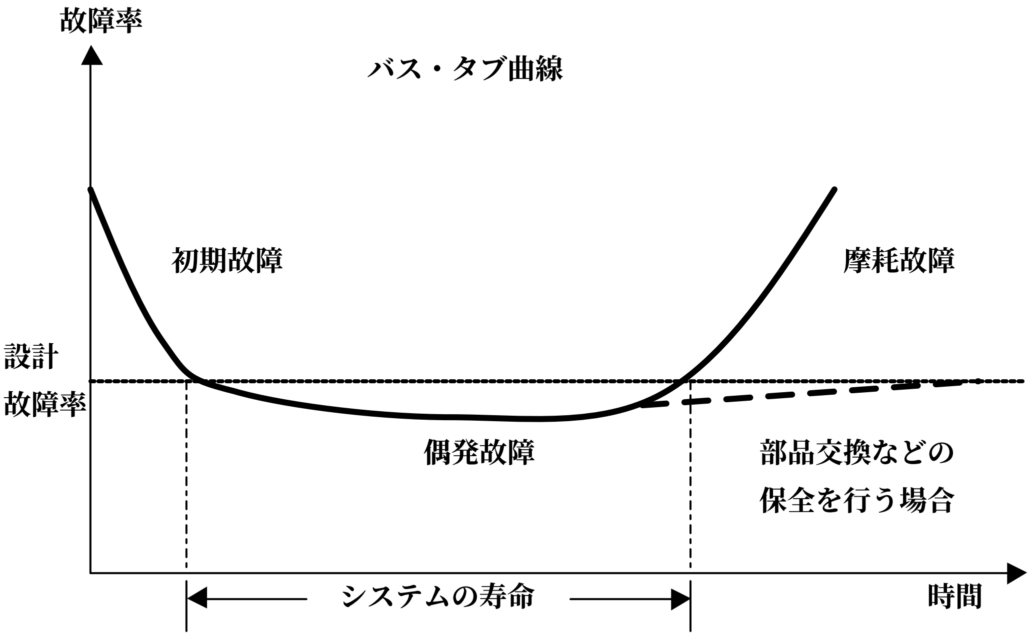
時間がたつにつれて故障率が高くなる

1973年　10分以上の遅延207件

B　バス・タブ曲線　Bath-Tub Curve

故障のグラフは洋式浴槽に似た曲線を描く

信頼性の概念をグラフ化したもので、人間の死亡率曲線にも見られる



人の故障　幼児期　抵抗力がない　死亡率が高い　初期故障

青壮年期　交通事故など　低く安定　偶発故障

老年期　老化　死亡率が上がる　摩耗故障

C　信頼性の表示方法

A　残存率　R(t)

システムがある時間 t だけ動いて、故障を起こさずに残っている確率

電離層観測衛星は、打ち上げ１年半後の残存率が 70%とされ、これは信頼性を示し、信頼度という

b　故障率　λ(t)

t 時点まで稼働していたシステムが、t 時点で故障する確率

信頼度 70%について､部品の平均故障率は 10 億時間に１回の故障しか許されない

c　故障率と信頼度の関係式

$$R(t)=e^{-l(t)}$$

d　故障までの平均時間（Mean Time To Failure　MTTF）

部品が故障するまでの時間の平均である

寿命を示す目安である

e　平均故障間隔（Mean Time Between Failure　MTBF）

システムは多くの部品で構成されているが、１回故障が起きると故障個所を修理して次の故障まで稼動させるので、故障が起きる平均の時間間隔をいう

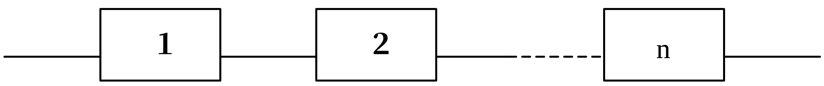
システムの信頼性を示す目安である

D　複雑なシステムの型

A　直列システム

どれか１個の要素が故障すれば、システム全体が故障となる場合

各要素が一つの鎖のように繋がれている



信頼度　　R_1　　R_2　　R_n

システムが正常に動く確率 R_3 は

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \cdots \times R_n$$

例　３個の部品のシステムで、角個の信頼度が 0.9 の場合

$R_3 = 0.9^3 = 0.72$

一般に、直列システムでは各部品の信頼度よりも、システム全体の信度は必ず悪くなる

b　並列システム

システムを構成する全ての要素が故障しなければ、システム全体は故障とな

らない場合全ての要素が故障したとき、全体の故障となるから、故障する確率で関係式を求める

システムの信頼度を R_s とすれば、システムが動かない確率は（１ - R_s）

各要素が故障して動かない確率は（１ - R_1），（１ - R_2）,,,（１ - R_n）

（１ - R_s）＝（１ - R_1）×（１ - R_2）×・・・(１ - R_n）

従って　R_s = **1**-（１ - R_1）×（１ - R_2）×・・・(１ - R_n）

信頼度 0.9 の要素が３個並列になっている場合

R_s = **1**-（１ - 0.9）^{3}　＝ 0.999

システム全体の信頼度は、もとの要素の信頼度よりも高くなる

C

部分的な直列または並列ごとに計算し、簡単化して全体の信頼度が求められる

E　信頼度の改善

信頼性工学の重要なテーマ

「信頼性の低いリレーを用いて、信頼性の高い回路を作る方法」

F　冗長システム

＊　故障が発生しても、並列に構築された複数個のシステムで稼働を維持するシステム

＊「緑の窓口における座席予約と発券業務」

３台のコンピュータシステムを稼働して、A,B システムを業務に用い、C システムは予備として稼動するが軽微な業務を割り当て、A,B システムのどちらかが故障しても瞬時に C システムに切り替わるように設定されている

G　二重化システム

＊　予約状況を記録したファイルは、全く同じ内容となっている２つのファイルが作成されている

＊　２個の要素を持っていても、仕事は１個の要素によって完全に処理され、忙しいときに分担することはない

＊　予約ファイルに故障が発生すれば、ただちに予備のファイルに切り換えて処理を続行するが、切り換える瞬間に予備ファイルも常に内容の更新ができるように設定されている

＊　緑の窓口や航空機の座席予約システムなどは、二重化システムとして稼動している

H　ツイン・システム

＊　２つのシステムが同一の仕事をして、結果を比較するもので、もし結果が一致しなければどちらかが故障したことになる

＊　故障検出の方法である

＊　人間宇宙飛行計画やミサイル早期警戒システムなどがある

＊　今日では電子決済、銀行預金管理などに導入されている

I　トリプル・システム

＊　３つのシステムに同じ処理をさせて結果を比較する

＊　２つのシステムの結果は一致すると考えられるので、故障の検出だけではなく、多数決によって、その後の処理を進めることができる

＊　アポロ計画では、３台のコンピュータシステムの出力を比較して、多数決で処理を進める方法が採用され、さらに故障の予備としてもう１台を稼動した

J　平均修理時間　(Mean Time To Repair　MTTR)

＊　予備システムに切り換えている間に主システムを修理するが、修理のし易さを示す

K　アベイラビリティ（Availability　A）

＊　信頼度が高くて故障しないほど高く、故障しても修理が早くできるほど高くなる

＊　例　発電所の発電可能率のアベイラビリティ

２０日間の定期修理、１回３日間の事故が２回起こり休止

$$A=\frac{\text{１年間－（休止日＋定期修理日）}}{\text{１年間}}=\frac{365-(3\times 2+20)}{365}=0.93$$

３－２　システムの計画・実行・管理

A　スケジューリング　日程計画　Scheduling

B　PERT法（パート　Program Evaluation and Review Tecnique）

１９５８年　アメリカ海軍　ポラリス潜水艦搭載用ミサイル開発

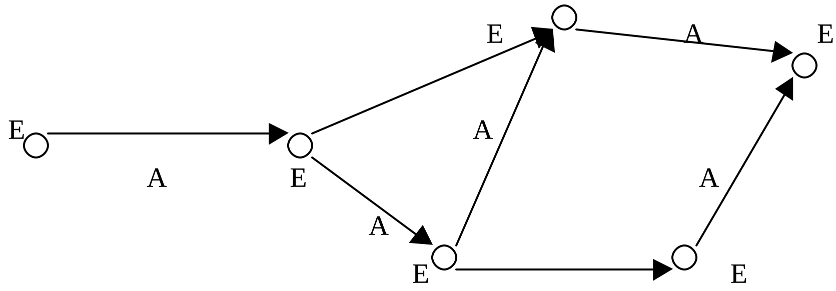
予定より２年間早く完成

あるプロジェクトを作業の組み合わされたネットワークとして考えたもの

a　構成要素

事象　イベント　Event　作業の開始と終了

作業　アクティビティ　Activity

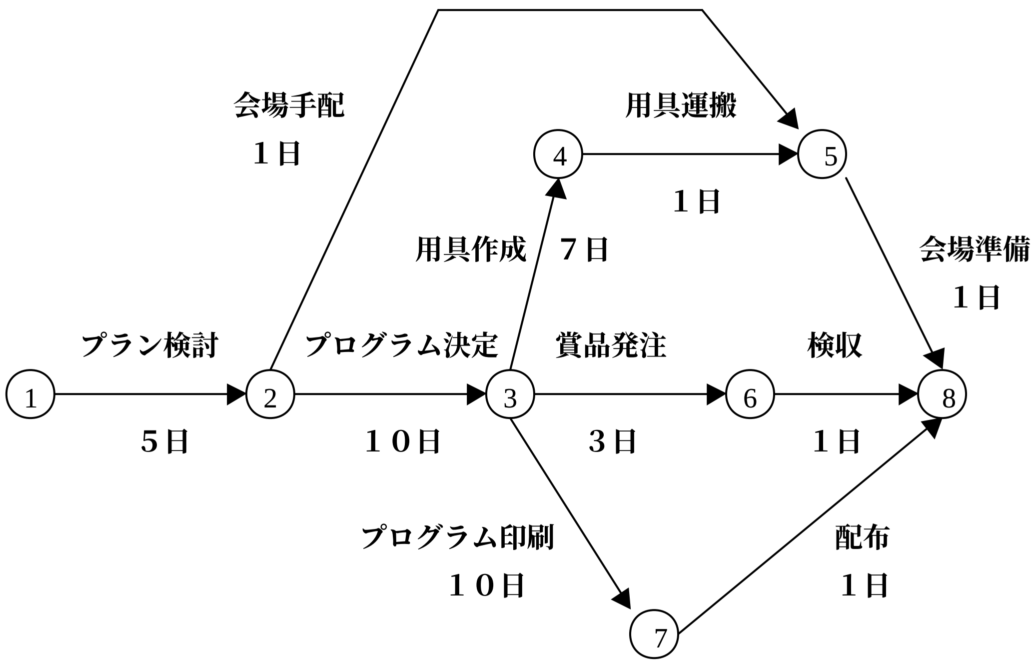


B　作業ネットワークの利点

　＊　計画の内容がはっきりする
　＊　仕事の相互関係がはっきりし、各仕事の後先がはっきりする
　＊　最終目的から逆に辿るのも一つの方法
　＊　何回もネットワークを書き直すことにより計画の細部が明らかになる
　＊　必要な仕事と必要でない仕事が明らかになる
　＊　実行し出せば、この図を用いて進行状況をチェックし管理できる
　＊　ある日時の段階で、ネットワークのどこまでできており、最終目的達成まであと何と何が残っているかが解る
　＊　各作業に必要な日数を見積もることができ、簡単な計算で完成までにあと何日かかるか、どの仕事が急を要するかなども解る
　＊　将来を見通した前向きの資料が得られる

C　PERTの応用例

「学校の運動会の計画」



３－３　システムとコンピュータの融合

＊＊　システム分析　System Analysis　＊＊

A　SOP　Study Organization Plan

IBM 社が開発した組織研究の方法

A　資源明細書

＊　一つの組織が持っている人員、機械、設備などを詳細に記述

＊　その組織の潜在的な処理能力を表す

b　活動用紙

＊　組織のなかの一単位が行ういくつかの活動をブロック図で示す

c　オペレーション用紙

＊　活動用紙の中の一要素をオペレーションといい、作業の手順を分析レポートに記入する

一連の作業がなにを引き金（トリガー）にして開始されるか

参照される入力情報は何か

利用される資源は何か

格差業の内容は何か

d　メッセージ用紙

＊　入力・出力情報の分析レポート

流通する文書に記入される項目は何か、漢字か、英字か、数字か、最大の長さは何文字かなど

e　ファイル用紙

＊　ファイルの手段

B　事務分析のフローチャート

＊　あらかじめ約束している記号に従って作業の手順を示す

工作課　外注部品の購入依頼を購買課に出し、控えを保存しておく

購買課　外注先に注文書を出し、通知書を工作課に送り控えを残す

工作課　通知書と控えとを照合して正しいことを確認し、さらに現品が到着してからチェックする

＊　組織の現状、業務の流れを視覚的に把握できる

C　デシジョン・テーブル　Decision Table

＊　複雑な条件判定と処置とを、四つの記入欄に整理して記入し、わかりやすく示す

条件の名称欄

この業務に関係するあらゆる条件を YES(Y)または NO(N)で表現できるように細分化して記入する

アクションの名称欄

この業務で予想される全ての処置の名称を記入する
アクションの記入欄
チェックを入れる

D　要求定義手法

＊　大規模なシステムでは、「どのような働きをさせるか」という要求機能を明確に定義することは困難である

＊　システムにたいする要求をフォーマルな（formal　定式化された）方法で記述し、これをコンピュータでチェックして、全体として矛盾がなく完結したものになっているか確認される。代表的なものに次の２つがある

ISDOS（Infomation System Design and Optimization System）
SREP（Software Requirements Engineering Program）

＊　フォーマルなく記述のためには専用の言語が用いられ、通常の英文に近くて使いやすいように工夫されている

以上のような方法で現状分析を行い、どのような問題点があってどのように改善すればよいかを明らかにする
コンピュータには起こりうるあらゆる場合の処置を前もって教え込んでおかなければならないから、例外的な事態の処理手続きやルールは十分に検討して関係者間の意思を統一しておかなければならない

＊＊　システムの設計（**System Design**）＊＊

望まれる機能を実現するようにシステムの内部構造を決める作業
コンピュータに関連する部分では、次のようなドキュメント（Document　書類）を作ることによって進行する

A　機能仕様書

＊　システムの機能を記して以後の設計の前提条件となる

＊　システムと利用者とのインターフェース、例えば利用者が命令を与える方法、システムからの応答の方法などについても定めておく

＊　利用者側からはシステムに入力を与えて出力を得るという機能だけに注目していれば十分である

B　入力設計書

＊　システムに情報を入力するときの方法、内容を記したもの

処理内容　ディスプレイ画面のメニューを選ぶかボタンを押すか
データの入力　キーボードか OCR（光学的文字読みとり装置）か
データの内容　英数字やカナ・漢字の区別、最大文字数など

D　出力設計書

＊　システムから情報を出力するときの方法、内容

＊　プリンターによる報告書形式、プロッターによるグラフや図形、ブラウン管による表示、マイクロフイルムへの焼き付け、ディスクへの記録など

E　システム構成設計書

＊　システムに要求される機能を分解して、どのような要素からシステムを構成させるか設計した結果を記す

＊　構成要素をモジュールといい、全体構成を階層構造的に記す
システム全体を貫く設計思想を記す

F　コード設計書

＊　コンピュータはあらゆるものを数字や文字を使って取り扱うと能率が良いので、コード（記号）の体系を設計する
例えば、３０センチの扇風機は EF30 で、一種の背番号である

G　ファイル設計書

＊　入力されたデータを処理していく途中で一時的に記憶したり、台帳のように蓄積しておくが、このようなデータの集まりをファイルという

＊　どのデータをどのような順で、どのようなレイアウトで記憶させるかを詳細に記したもの

H　処理手順書

＊　以上のような入出力、コード、ファイルの設計を進めながらシステム構成設計書をふまえて本来の処理手順をまとめる

＊　処理の手順は箇条書きにしても良いし、複雑な条件が関係するものはデシジョン・テーブルにしても良い

I　検査仕様書

＊　システムの設計を進めるとともに、必要な検査の内容が自然と明らかになってくるから、これを仕様書にまとめてけんさの計画を立てる

＊　検査の手順、項目、入力、所望の出力などを記したもの

＊　検査後は検査成績所を作成する

J　取扱説明書

＊　システムの利用者に取り扱い方法を説明する資料であり、機能仕様書と内容的には同じ部分が多いが、丁寧な言い回しとなる

３－４　システムと人間（最大の情報源）

＊＊　巨大システムにおける大事故原因　＊＊

A　スリーマイル・アイランドの原子力発電所の原子炉空だき事故

＊　1979 年　米国ペンシルバニア

＊　蒸気発生器への主給水ポンプ停止　緊急補助ポンプ稼動　水を送るパイプ弁が閉鎖　原子炉の「空だき」　放射性キセノンガスが大気中に放出　住民８万人以上緊急避難　放射能の人体への影響　周辺の町の治安維持

＊　巨大システムでは人間が分担する仕事のミスが致命傷になる

弁が閉鎖されていることを示す表示ランプ２個が捜査員から見えず、８分間も気づかれなかった

その後の判断、処置も未熟であり、装置の故障やシステム設計のまずさが重なり、重大な事故になった

B　**1986**年　スペースシャトル・チャレンジャー号の爆発事故

＊　機体右側固体燃料ロケットの継ぎ目の欠陥　高温高圧の燃焼ガス噴出

1977年テストで継ぎ目の欠陥発見　合成ゴム製Oリング部品を取り付け

1984年11回の飛行後Oリングの腐食発見　1985年Oリングから燃焼ガス漏れを発見　メーカーが本格的な技術検討を開始したのは事故の11日前

設計・運用まで含めた広い意味での人的ミス

C　**1986**年　ソ連のチェルノブイリ原子力発電所の原子炉暴走と水蒸気爆発

＊　核分裂反応が制御できなくなって暴走　水蒸気爆発による死者多数　周辺住民の避難や農作物の放射能汚染

国際原子力機関（IAEA）の報告では、事故の原因は安全装置を切って実験を行った規則違反と、その後の不適切な操作という、六つの人為的ミスに帰着すると結論されている

＊＊　人間の研究（人間工学）＊＊

A　システムにおける人間の研究

a　感覚

＊　五感についての研究　実験心理学の研究成果が多い

＊　システムの一要素として人間が作業する場合は視覚が最重要で聴覚が次

b　環境による影響

＊　各種作業に必要な照明、色彩に対する心理的反応に関する研究

＊　作業に適した温度、湿度の研究や過酷な環境下での能力低下と、その補償方法の研究など

c　作業能力

＊　人体測定から始まって、作業域の研究、手の筋肉運動の分析、所要時間や捜査力の計測など

d　反応特性

＊　人間の動作を静置動作、反復動作、逐次動作、位置決め動作、連続動作に分類して、所要時間、速度、習熟性などの研究

B　マンマシン・システムの考え方

人間がシステムの一要素として介在し、その人間の特性がシステム全体に重要な影響を与えるとき、これをマンマシン・システム（人間・機械システム）という

ヒューマン・ファクター　システムの一要素としての人間の働き（判断や挙動）

ヒューマン・エラー　とくに誤った判断や挙動

C　安全対策とヒューマン・ファクター

＊　原子力発電の事故はヒューマン・エラーによるものであり、従来は主として設備面から実施されてきた安全対策に、ヒューマン・ファクターを取り入れる必要性を強く示したものである

＊　制御盤のレイアウトや警報システムなどを改善し、安全装置のスイッチを切る、と運転できないようにする、インターロック方式の対策がとられているヒューマン・エラーの問題は突き詰めていくと、故意にシステムの働きを狂わせようとする事に対する防止策まで、考え出さなければならない。これは通常は複数の人間による、相互チェックの仕組みが利用される

＊　ICBM（大陸間弾道弾）の発射ボタンは、二人の人間が同時に押さなければ動作しないようになっている

＊　日本の原子力発電所では、弁を開いた状態にして鎖をかけ、鍵を掛ける仕組みにしてある

D　システムの使いやすさ

＊　システムが正常に動作しているときは、人間が判断し、動作しやすい環境が望ましい。いわゆる「使い勝手」というシステムの性質が重要となる

＊　一般に、システムの機能を複雑・高度にすると、それに応じて人間の操作も複雑になってしまい、簡単な操作と高度の仕事は両立しない傾向がある

＊　駅の自動券売機　OA 機器　銀行のオンライン端末機　コンピュータなど人間の特性を考慮したシステム設計が必要である

第４章　システム工学の応用

４－１　日常生活とシステム工学

身近にあるシステム

A　銀行オンライン

＊　1965 年　三井銀行　普通預金サービス

＊　各銀行が導入　定期預金、為替、貸付、ローンへ拡張

＊　待ち時間の減少、銀行員の省力化、経営管理に役立つ情報の入手

＊　1985 年　第三次オンライン・システム開発

都銀上位行で数百億円の投資規模に達する

証券業務の取扱いや国際ネットワークの拡充、他行や取引先企業との接続

クレジットカードと銀行のキャッシュカードの共用化

＊　銀行オンライン端末操作　工学的考察の材料提示

端末機の前に立つと表示用の画面に案内の表示が出る

「いらっしゃいませ」の合成音が出る

押しボタン方式からタッチパネル方式へ交代

振り込み時の操作は現在行われているのが限界

「使い勝手」が良くないので改善要求を客がする必要がある

B　鉄道の座席予約システム

＊　1960 年　一日約 200 座席、取り扱い窓口 12 でスタート

＊　1964 年　「マルス 101」システムとして 300 万席自動化

＊　1965 年　「緑の窓口」の名称

＊　1985 年　「マルス 105」システム　一日約 90 万席、窓口数 1600

＊　現在　　「マルス 150」システム　電話予約

C　駅のアナウンス自動合成システム

＊　札幌の地下鉄が最初に実用化

＊　アナウンスの声が少し不自然であり人間がマイクに向かっているのではない

＊　各種案内放送に必要なパターン（文型）と、これを構成する文節（単語、単語＋助詞、単語＋助動詞といった発声単位）とをディジタル化してメモリーに記憶させる

＊　列車の接近を装置が検出して、案内放送が必要なときに、コンピュータが、①間もなく②１番ホームに③ひかり④１号が⑤到着します、といった具合に文節をつなぎあわせて、即座に多種類のアナウンスを行う

D　自動車交通の広域制御システム

＊　一つの交差点の信号管制や特定道路の交通制御を都市全体に広げている

＊　信号機に超音波などを利用した感知器を置き、通過する車の台数や間隔を測り、電話回線など使って自動的にデータをコンピュータに集める

＊　各信号からのデータがそろったところで、プログラムによって各信号の赤と青との時間を決定し、指令する

＊　システム工学的手法によって、安い費用で既存の施設のバランスのとれた有効利用をはかる

E　新自動車交通情報通信システム　アムティクス　AMTICS

＊　走行中の車に、周辺道路の混雑状態や駐車場の空き状態、交通規制・交通事故の有無などをリアルタイムで知らせる

＊　道路地図を記憶した CD（コンパクトディスク）と小型ディスプレイ装置を車に備え、道路に設置したセンサーで検知した車の現在位置と、警察の交通管制センターが収集した交通渋滞状況を重ねて表示して、目的地方向の交通状況が一目でわかるようにしたものである

＊　現在では「カーナビゲーション」として普及している

F　路線バスの到着予告システム

＊　1977 年　バス停の表示板に「今度のバスは◯◯◯を出ました」と表示する

＊　バス停でバスの発信する電波を受けて隣接する先のバス停に情報を送る

＊　コンピュータを利用して、到着予定時刻を計算し、バス停のディジタル時計に表示するものもある

G　バスの運行計画図作成自動化システム

＊　横軸に時間、縦軸に距離と経過地点をとったグラフに、山の形の線でそれぞれのバスの運行計画を記入し（組みダイア）、それを乗務員一人ひとりの勤務ダイアに自動的に分岐する

＊　乗務員の勤務時間などに関する細かい規則を全部満足しつつ、自動的な試行錯誤とファジー（あいまい）理論などの AI 技術を活用して、問題を解決している

H　救急システム

＊　交通事故の負傷者や急病患者の処置を迅速に行う

＊　消防機関、主要医療機関、救急病院などを通信回線でネットワーク化し、事故発生現場付近の出動可能な救急車の台数、最寄りの病院の診療科目、空きベット数などを救急医療センターに自動表示する

＊　センターの指令台にマイクロフイルム読みとり装置などを取り付けて、救急車要請の電話がかかると、機械が自動的に通話社の電話位置を割り出し、その地区名と付近の地図、消防署名、救助隊、救急車の一覧表が表示される

＊　消防活動では、走行中の消防指揮車に出動先のビルや地下街の図面、消火栓の配置図、途中の道路の渋滞状況などをファクシミリで伝送するシステムが導入されている

４－２　国・地方自治体・個人とシステム工学

A　国の情報システム

a　コンピュータ導入

1958 年の気象庁が最初、1963 年頃から活発化、多数の情報システムが構築

b　統計データとその分析ソフトウエア

＊　経済企画庁　国民所得統計、法人企業動向調査、機械受注統計、景気動向指数

＊　通産省　鉱工業生産指数、エネルギー統計

オンラインによりデータとソフトウエアの相互利用を行うシステム実現

c　業務用データとその検索用ソフトウエア

＊　1977 年　行政管理庁の法令検索システム

＊　現行の憲法、法律、政令など 3000 以上の法令が全文記憶されており、条文の数は 40 万以上に達し、戦後の裁判判例要旨も記憶されている

＊　一般弁護士や民間企業には開放されていない

d　官庁が行政上の必要から集めたデータのファイルは 800 種類以上

＊　無条件で民間に提供できるのは 10%、条件付きで 30%で残りは提供されない

特許庁（日本特許情報センター）の特許関係情報や、総務庁の国勢調査、事業所統計調査などが公開されているデータベース

e　個人に対するサービス

＊　行政機関が保有する個人情報は、人口の 10 培に近い

社会保険庁　管理する厚生年金などの「被保険者資格記録」

警察庁　運転免許の不正取得防止や点数制度の運用に使っている「運転者管理マスターファイル」

法務省出入国管理業務に使う「日本人マスターファイル」

f　国民総背番号制　NIS　National Information System

＊　1960 年後半　コンピュータによって行政を合理化、簡素化しようという考え

＊　戸籍、財産、履歴、学歴、納税、年金、保険、交通違反、犯罪歴などのデータを統一的な 11 桁の番号で示す個人コード（Code）の基で集中的に記憶しておくもの

＊　統一的に記憶された個人情報を目的外に使用されることなど、プライバシーの侵害のおそれも大きいとして、反対の意見が多い

B　地方自治体の情報システム

a　東京都をはじめ各府県や主要都市の大気汚染や水質汚濁の監視システム

b　宮崎県は地域の良さを総合的に表す「総合地域指標」を開発

生活基盤、生活行動、生活環境に関する 200 種以上の統計データを収集し、住民へのアンケートをもとに生活関連項目に関する満足度を計算して、総合評価

を行い公表している

c　兵庫県は「兵庫ダイナミックス」というシミュレーション・モデルを開発

＊ システム・ダイナミックスの手法を兵庫県に適用して、人口、工業生産、食糧、汚染、交通、森林などの７要素の相互関連をモデル化したもの

＊ 自然環境を保全しながら最適な開発計画を検討することが可能となる

C　国土情報とリモートセンシング

a　メッシュ・データ　Mesh Data

＊　全国を多数の小地域（長方形などで区分）に分けて、この小地域ごとにデータを総合的に記憶、整理するもの

＊　データ内容

地形、地質、気象、地下水、土地利用、水利用、人口（総数、男女別、年齢別、終業別、所帯規模など）通勤・通学の実体、産業分布など

＊　基本的な地形などについては国土地理院がデータを整備しており、多の各種データは目的に応じて収集する

＊　メッシュ・データのコンピュータ処理による資料

都市　土地利用、スプロール化の実態把握、通勤対策の検討に役立つ資料

農村　交通通信施設の整備、産業立地の選定、森林計画など

＊　国の標準メッシュ

等経緯度で区切った面積約１平方キロで、全国では 37 万以上のメッシュとなり、さらにメッシュごとのデータを記憶するから、膨大な量になる

部分的にはより詳細なデータが必要となるので、一辺 250m のメッシュまで定められている

＊　各自治体のメッシュ

一辺が 500m、250m、200m がある

b　遠隔探査　Remote Sensing　リモート・センシング

＊　国土情報を遠隔探査によって部分的に自動化している

＊　地球表面からの可視光線や赤外線の強さを測定する機器を、人工衛星や航空機に積んで地上の画像を作成、これを肉眼あるいはコンピュータなどで処理して、有用な情報を得ようとするものである

＊　1972 年米国が ERTS（アーツ　Earth Resouce Technology Satellite）計画の一環としてランドサット（Landsat）１号を打ち上げ、国連を通じて各国に参加をを呼びかけたのがその起こりである

＊　先進国だけでなく、発展途上国も衛星からのデータ受信施設（地上局）やデータ処理システムを整備して積極的な利用を行っている

＊　衛星から地上を観察するねらい

①　地上調査では測定困難な短時間の広域観測

② 定地域の周期的観測

③ 数種の電磁波測定データを重ね合わせることによる新事実の発見

＊ 利用例

①地形図の作成 ②森林や穀物の病虫害分布図 ③森林の樹木の種類別分布と木材の量の推定 ④山火事の監視 ⑤洪水の被害地域調査 ⑥地表温度の調査による地熱発電適地の発見 ⑦地下資源が埋蔵されている土地に特有な地形の調査 ⑧海洋汚染の監視 ⑨漁業資源の探査 ⑩火山活動や時崩れの監視

D データベース

a 概念

米空軍で兵器や補給活動の情報を集中的に管理する必要から生まれ、1957 年のソ連による世界初の人工衛星「スプートニク」の打ち上げをきっかけとして、米国で科学技術情報の一元的な管理の必要が叫ばれて急速に発展した

b 定義

情報の集合体であって、それらの情報をコンピュータを用いて検索できるように、体系的に構成したもの

c 情報の形態

① 文字情報 文献などの表題、抄録、全文

② 数値情報 各種の統計数値、科学分野での実験・観測値

③ 画像情報 写真、地図、図面

d 日本で利用できるデータベース

通産省のデータベース台帳総覧に示され、1700 件を超えている

対象分野は自然科学・技術及びビジネス関係が 30%、新聞記事なぢの一般データベースが 10%程度

e 国産の商業用データベース

市況情報センターの株価情報（QUICK）

日本科学技術情報（JICST）センターの科学技術文献情報（JOIS）

日本特許機構（JAPIO）の特許情報（PATOLIS）

日本経済新聞社の NEEDS-IR

４－３ 経済・産業・金融とシステム工学

A 産業連関分析

B 企業活動のシステム化と OA

C CAD とコンピュータ・グラフィックス

D CAM と NC

E 産業用ロボットと FC

F パターン認識の利用